

RAPPORT DE STAGE

BOURGART Claire

Dans le cadre du stage de **2^{ème} année** :

Option stage court ☐

Option stage long :

- séquence unique : ☐

- 1^{ère} séquence ☒ - 2^{ème} séquence ☐

- Ci-joint également le « compte rendu de parcours » : ☐

Stage effectué du :15/06/2011 au 12/12/2011

À : CIRAD Réunion / UR HortSys

Station de Bassin Plat,

BP180,

97455 SAINT-PIERRE

Sur le thème :

**Dynamique des populations de cécidomyie des fleurs dans les vergers de manguiers : Etude de la
dispersion intra-parcellaire et des dynamiques inter-parcellaires**

Eventuellement, rapport confidentiel : ☐ Date d'expiration de confidentialité :

Pour l'obtention du :

DIPLÔME D'AGRONOMIE GÉNÉRALE

Enseignant-tuteur responsable : M. Jean ROGER-ESTRADE

Maître de stage : M. Frédéric NORMAND

Responsable de stage : M. Paul Amouroux

Introduction

Dans le contexte actuel de prise de conscience de la nécessité de préserver l'environnement, le plan gouvernemental ECOPHYTO-2018 a été mis en place. Il prévoit la réduction de moitié de l'utilisation des produits de synthèse d'ici 2018. Rendre compatible cette mesure avec une agriculture qui soit productive demande une adaptation des pratiques. Quelque soit la culture, le contrôle des bio-agresseurs représente toujours un grand enjeu, car leur existence en quantité trop importante va diminuer le rendement. Dans les vergers de manguiers, l'un des insectes qui pose problème est la cécidomyie des fleurs : *Procontarinia mangiferae*. Elle a d'ailleurs été désignée par les professionnels de la filière à la Réunion comme le deuxième ravageur d'importance sur mangouier. Cet insecte a jusqu'à présent été peu étudié, mais il engendre des pertes importantes dans plusieurs pays producteurs de mangues dont la Réunion (Whitwell 1993 ; Amouroux & Normand 2010), puisqu'il peut détruire totalement une floraison.

Actuellement, il n'y a pas de molécule homologuée disponible, utilisable facilement par les agriculteurs, ni de seuil d'intervention défini, la lutte chimique traditionnelle s'avère inefficace (Barbosa *et al.* 2002). La mise au point de méthodes alternatives de lutte dans le cadre du plan ECOPHYTO 2018 est donc particulièrement intéressante. Dans le but d'améliorer les connaissances autour de ce ravageur, des travaux ont été mis en place au CIRAD avec le projet de recherche de Paul Amouroux, mon responsable de stage, intitulée « Bio-écologie et dynamique des populations de cécidomyie des fleurs (*Procontarinia mangiferae*), un ravageur inféodé au mangouier (*Mangifera indica*) et implications pour la lutte intégrée en verger ».

Mon stage s'inscrit dans la première phase du projet, c'est à dire dans les travaux sur la connaissance de l'insecte lui-même et de sa/ses dynamique(s) de population. La problématique du stage est d'étudier les dynamiques de population de la cécidomyie sur une parcelle et entre parcelles. Ceci s'effectue sur un dispositif de 5 parcelles, suivies sur plusieurs années à travers deux expérimentations. Les questions de recherche sont : Quelle est la dynamique spatio-temporelle de diffusion de la cécidomyie des fleurs dans un verger sain ? Quelle est l'importance de la dynamique d'apparition de stades sensibles de la plante-hôte dans la dynamique du ravageur ?

Mon stage s'est déroulé en deux phases, une première phase d'acquisition de données sur le terrain dont les protocoles seront décrits dans la partie Matériels et Méthodes puis une phase d'analyse de données dont les principaux résultats seront présentés et commentés dans la partie Résultats et Discussion. Je commencerai en décrivant le contexte réunionnais, puis quelques données essentielles sur la biologie du mangouier et sur *Procontarinia mangiferae*.

Remerciements

Tout au long de ce stage j'ai eu le chance d'avoir deux responsables qui m'ont soutenues et aidées et que je souhaite remercier plus particulièrement :

Frédéric Normand, ingénieur agronome, mon maître de stage pour son écoute et ses conseils avisés.

Paul Amouroux, ingénieur agronome entomologiste, mon responsable, pour la patience et le temps qu'il a consacré à répondre à mes questions nombreuses et variées, pour l'aide qu'il m'a apporté dès que j'avais un problème quel qu'il soit. Je le remercie aussi d'avoir partagé ses connaissances sur la faune, la flore, la culture et le patrimoine réunionnais, c'était très intéressant et enrichissant.

Je remercie aussi Jean Roger-Estrade, mon enseignant-chercheur référent, pour sa réactivité et la pertinence de ses réponses.

Enfin, je remercie toutes les personnes que j'ai rencontrées, à Bassin-Plat comme lors de mes passages aux 3P au cours de ces 6 mois et avec qui j'ai partagé de très bons moments :

Elodie et Rose-My pour une initiation à R des plus efficaces, dans une ambiance studieuse mais agréable.

Magali Jameux, ma colocataire et collègue de bureau pour son soutien en toutes circonstances.

Toute l'équipe de Bassin-Plat, pour son accueil chaleureux et la bonne ambiance qui règne sur la station.

Je rajoute rapidement une mention spéciale à «AX-244-ZW» mon véhicule 'presque tout-terrain', qui m'a fidèlement accompagné dans les vergers pendant mes 4 mois de terrain.

Sommaire

Table des matières

Introduction	2
Remerciements.....	3
Sommaire	4
1 – Contexte et informations générales.....	5
1.1 – Les particularités du climat réunionnais.....	5
A – Topographie.....	5
B – Pluviométrie.....	5
C – Températures.....	6
1.2 – Le contexte agricole réunionnais	6
A – Contexte général de recherche	6
B – Le contexte 'Mangue' à la Réunion.	7
C – Physiologie et cycle du manguier.....	7
D – Le contexte des bio-agresseurs dans le verger de manguiers.....	8
E – Présentation de la cécidomyie des fleurs du manguier : <i>Procontarinia mangiferae</i>	9
2 – Matériels et méthodes.....	10
2.1 – Suivi de la population de <i>P. mangifera</i> sur 3 parcelles de Juin à fin Octobre.....	10
2.2 – Suivi d'une dynamique de colonisation d'un verger sain.....	11
3 - Résultats et discussion.....	12
3.1 – Expérience 1 : Suivi des dynamiques de plusieurs parcelles.....	12
A – Dynamiques de population.....	12
B – Relation Dégâts / Nombre de larves.....	15
3.2 - Expérience 2 : Dynamique de colonisation d'une parcelle saine.....	16
A – Comparaison de la répartition spatiale de la floraison et des chutes de larves.....	17
B – Comparaison des dynamiques de population sur les deux parcelles.....	18
C – Relations Stade de l'inflorescence – Nombre de larve.....	20
Conclusion.....	22
Annexes :	23
Références bibliographiques :	26

1 – Contexte et informations générales

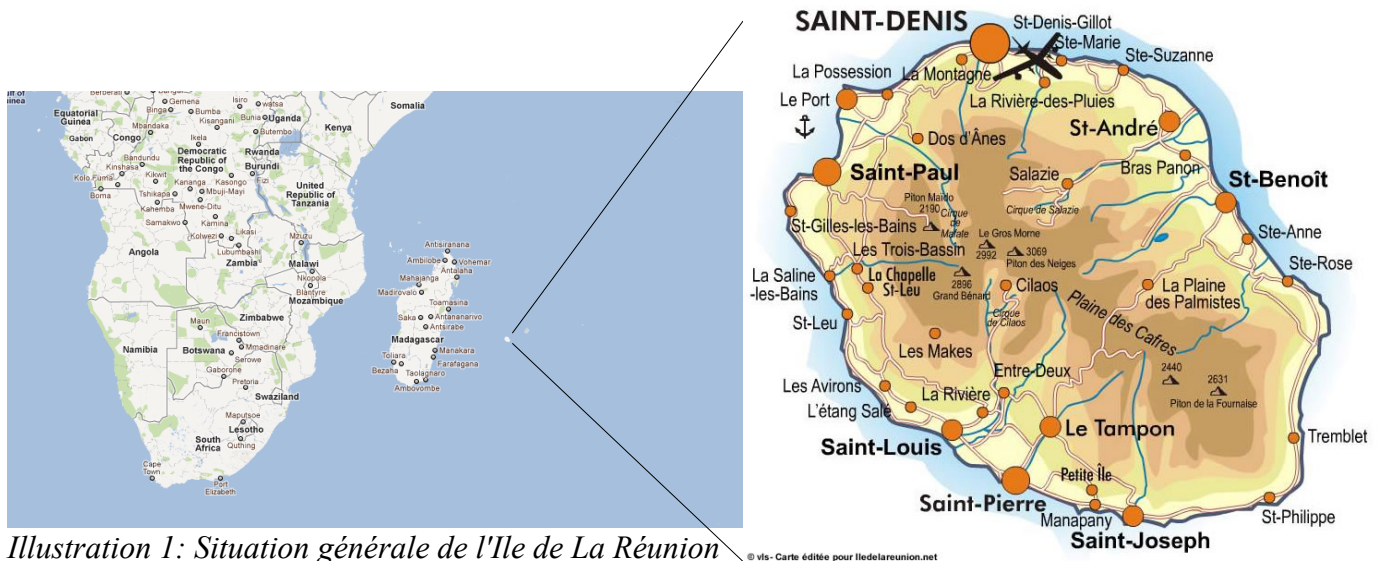


Illustration 1: Situation générale de l'île de La Réunion

L'île de la Réunion est située dans l'Océan Indien à environ 800 kilomètres à l'Est de Madagascar. C'est la plus jeune des îles composant l'Archipel des Mascareignes avec l'île Maurice et l'île Rodrigues. La terre la plus proche est l'île Maurice, à environ 200 kilomètres à l'Est de la Réunion. Du fait de sa jeunesse, les reliefs que l'on trouve sont très accidentés et expliquent en partie les contrastes climatiques observés sur l'île.

1.1 – Les particularités du climat réunionnais

Je vais présenter rapidement les aspects topographiques et climatologiques qui vont nous intéresser, c'est à dire : pluviométrie, température. Les cartes auxquelles je me réfère sont présentées en Annexe 1.

A – Topographie

La Réunion est une île volcanique, qui s'est formée à partir d'un point chaud qui a donné naissance au Piton des Neiges, un volcan maintenant éteint. Elle possède encore un volcan en activité dans la partie Sud-Est de l'île, le Piton de la Fournaise. Sur les deux cartes qui sont en annexes respectivement la carte hypsométrique et la carte présentant les variations d'angle des pentes, on peut voir que plus de la moitié de la surface de l'île est à une altitude de 500 mètres et plus et que la majeure partie des terrains est en pente plus ou moins forte : 30% de la surface de l'île est en pente de 30 à 50%. Cela va constituer des contraintes majeures et limiter la surface utilisable par l'agriculture : difficulté d'accès à certaines parties de l'île, difficulté d'utilisation des machines agricoles, lessivage des sols...

B – Pluviométrie

Les niveaux de pluviométrie sont contrastés allant de hauteur de précipitations de 500 à 8000 mm de pluie mesurées par an. Le gradient Nord-Ouest / Sud-Est est très marqué. Cette différence s'explique par la présence des Alizés qui arrivent par la côte Est, aussi appelée côte au vent et sont bloquées par les reliefs élevés qui protègent la partie Ouest de l'île ou côte sous le vent.

C – Températures

La répartition des températures se fait selon l'altitude principalement, les 'Bas' de l'île ayant en moyenne des températures plus élevées que les 'Hauts' et les cirques.

L'année est séparée en deux saisons :

- une saison sèche, d'Avril à Septembre qui correspond à l'hiver austral où les températures enregistrées sont en moyenne plus basses

- une saison des pluies, de Novembre à Mars qui correspond à l'été austral où les températures sont en moyenne plus élevées. C'est aussi la saison cyclonique.

1.2 – Le contexte agricole réunionnais

Voici quelques données générales, issues du recensement agricole de 2010 :

La Réunion a une superficie totale de 2 512 km² dont 42 813 hectares de SAU, soit 17% du territoire dévolu à l'agriculture. Cette surface agricole est partagée entre 7 378 exploitations, ce qui fait une moyenne de 6 hectares environ par exploitation.

La culture principale est la canne à sucre, environ 50 % des exploitations y sont dédiées ainsi que 6 hectares sur 10 de la SAU. Le deuxième type de culture végétale en terme de surface est la culture légumière qui concerne 2 900 hectares suivie de près par les cultures fruitières avec 2 800 hectares.

A – Contexte général de recherche

Dans ce contexte agricole, beaucoup de recherches ont évidemment pour objet la canne à sucre, au sein du CIRAD mais pas uniquement, d'autres centres comme eRcane, C.T.I.C.S (Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre) y sont exclusivement dédiés. Sur Saint-Pierre, le CIRAD est divisé en deux sites. Sur l'un d'eux, on retrouve le Pôle de Protection des Plantes (3P), le pôle café, le pôle élevage et enfin celui qui s'occupe de la canne à sucre. Sur le deuxième site, Bassin Plat, les problématiques de recherche sont liées aux cultures fruitières. Le programme dans lequel s'inscrit mon stage est le programme PIMAN : Production intégrée de mangues, d'ananas et autres fruits tropicaux.

Le concept fondamental sur le lequel repose ce programme est la démarche de « Production Fruitière Intégrée (PFI) ». La PFI est un « système agricole de production de fruits de haute qualité qui repose sur l'utilisation des ressources et mécanismes naturels pour remplacer les apports dommageables à l'environnement et qui assure à long terme une agriculture viable » [1]. Dans la pratique, il s'agit de déterminer toutes les étapes techniques qui jouent un rôle dans l'élaboration de la qualité, de la production agricole jusqu'à la mise sur le marché des produits, en passant par le conditionnement, la manipulation des fruits, etc... Il s'agit ensuite de les optimiser pour assurer un produit final de grande qualité, dont la production ait un impact environnemental le plus réduit possible et en y associant les agriculteurs en leur permettant de s'approprier les outils d'aide à la décision.

La PFI intègre entre autres un volet sur la lutte intégrée dans les vergers. Celle-ci a un double objectif de diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires et de maintien des populations de ravageurs sous un seuil acceptable pour l'obtention d'un rendement satisfaisant pour l'agriculteur. Les méthodes préconisées sont des méthodes alternatives naturelles, comme par exemple favoriser les ennemis naturels des ravageurs, contrôler mécaniquement la taille des arbres, ramasser et détruire les parties infectées. La diminution de l'emploi de produits phytosanitaires rentre également dans les objectifs de diminution de 50% de l'utilisation des produits phytosanitaires du plan ECOPHYTO 2018. Ce plan a été décliné à un niveau régional et dans la version DOM-Réunion, notre objet d'étude, la cécidomyie des fleurs est citée comme priorité de recherche. Regardons plus précisément les particularités de la culture de la mangue à la Réunion avant de nous intéresser à l'insecte en lui-même.

B – Le contexte 'Mangue' à la Réunion.

Le manguier est la troisième espèce arboricole exploitée à la Réunion, avec environ 3 500 tonnes de fruits produits chaque année. On compte 360 hectares de surfaces exploitées en verger de manguiers purs ou associé à d'autres cultures. On trouve également de nombreux manguiers dans les jardins créoles et à l'état sauvage, mais ceux-ci ne rentrent pas dans le cadre des statistiques agricoles.

Les exploitations productrices de mangues possèdent généralement des vergers de taille plutôt réduite, plus de 60% des vergers de manguiers ont une surface de moins de 3 hectares. Les principales variétés cultivées à but commercial sont les variétés Cogshall (30% des surfaces) et José (50% des surfaces), la première étant destinée à l'exportation et la seconde au marché local. De nombreuses autres espèces sont présentes sur la surface de l'Île, principalement chez des particuliers, comme la mangue Carotte par exemple.

C – Physiologie et cycle du manguier

Les exigences du manguier pour avoir une production fruitière intéressante sans avoir à réaliser trop de traitements phytosanitaires sont assez précises :

En terme de climat, une période sèche est souhaitable pour avoir une bonne floraison, des températures supérieures à 15° sont nécessaires pour une bonne germination du pollen. Une pluviométrie inférieure à 1500 mm par an permet de limiter les attaques de parasites.

En terme de sol, le manguier n'est pas très exigeant, un pH compris entre 5,5 et 7,5 ainsi qu'un sol dans lequel il puisse s'enraciner de façon satisfaisante lui suffisent.

En combinant toutes ces contraintes, on obtient une zone de culture qui correspond à la bordure de la côte Ouest qui s'étend du bord de mer jusqu'à une altitude de 400 mètres. La majorité de la production provient de la zone Nord-Ouest, celle située près de la Possession. (Voir la carte en Annexe 2 pour la répartition des zones de production)

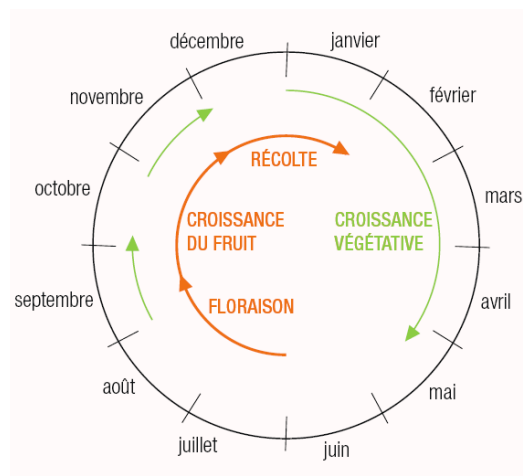


Illustration 2: Cycle phénologique du manguier (source [1])

Le cycle annuel du manguier est fortement influencé par le cycle de l'année précédente. Le cycle démarre au début de la floraison de l'année n en Juin, il y a en général plusieurs épisodes de floraison entre Juin et Novembre. Après la floraison, survient la nouaison puis la croissance des fruits, jusqu'à la récolte qui a lieu de mi-novembre à mi-février et qui précède un épisode de pousse végétative puis une période de repos végétatif. Le cycle recommence ensuite en Juin suivant avec une nouvelle floraison. La floraison débute généralement après un épisode froid pendant lequel les températures sont descendues en-dessous de 15 ° pendant plusieurs nuits. Cela permet l'induction des bourgeons en bourgeons reproducteurs.

Il arrive que pendant l'année n , pour des raisons climatiques, la floraison ou une partie de la floraison soit assez tardive, ce qui retarde les étapes suivantes et raccourcit la période de repos végétatif. La floraison de l'année $n+1$ n'a lieu alors pas lieu car les unités végétatives ne sont pas suffisamment âgées. Il est donc possible qu'une partie du verger ne fleurisse pas ou peu. Le même phénomène peut avoir lieu si la charge en fruits de l'année n est très importante.

Il est à noter que tous les événements de croissance végétative, par exemple, n'ont pas lieu en même temps sur tous les arbres du verger, ni même au sein d'un même arbre, c'est ce que l'on appelle l'asynchronisme de croissance. Le même phénomène existe au niveau de la floraison, les arbres fleurissent indépendamment les uns des autres, cette floraison décalée se retrouve au sein d'un même arbre, c'est l'asynchronisme de floraison.

L'asynchronisme pose problème au niveau de l'itinéraire technique car il implique la présence permanente de stades sensibles aux ravageurs et que des traitements sont à appliquer très régulièrement pour contrôler leurs populations. Le manguier possède 3 familles principales de bio-agresseurs, dont nous allons donner les caractéristiques principales ci-dessous.

D – Le contexte des bio-agresseurs dans le verger de manguiers.

Le terme bio-agresseur ne recouvre pas seulement les insectes, il inclut aussi les champignons et les bactéries. Je vais présenter rapidement dans le tableau récapitulatif ci-dessous les principales caractéristiques de ces bio-agresseurs.

Nature	Nom scientifique	Nom commun	Dégâts occasionnés	Méthodes de lutte	Méthodes de lutte alternatives
Insectes	<i>Procontarinia mangiferae</i>	Cécidomyie des fleurs	Dessèchement des jeunes pousses et des inflorescences	-	En cours d'élaboration (couvertures du sol), quelques parasitoïdes spécifiques
	<i>Procontarinia matteiana</i>	Cécidomyie des feuilles	Galles sur les feuilles		Parasitoïdes spécifiques Élimination des unités infectées
	<i>Orthops palus</i>	Punaise	Piqûres des jeunes pousses et bourgeons	Battage puis traitement au lambda-cyhalothrine (homologué) si le seuil de nuisibilité est dépassé	
	<i>Scirtothrips aurantii</i>	Thrips	Formation de liège sur les inflorescences et les fruits	Traitement phytosanitaire avec matière active homologuée si des dégâts apparaissent	
	<i>Ceratitis rosa</i> , <i>Ceratitis capitata</i> , <i>Bactrocera zonata</i>	Mouches des fruits	Ponte sur les fruits, les larves se nourrissent de la chair de la mangue	Traitement phytosanitaire si nécessaire en complément avec matière active non homologuée	Utilisation de l'augmentarium, ramassage des fruits tombés au sol
	<i>Icerya seychellarum</i> , <i>Aulacapsis tubercularis</i> , <i>Ceroplastes sp.</i>	Cochenilles	Se fixent sur les feuilles, les branches des manguiers		Taille des manguiers, fertilisation raisonnée, peut être contrôlé par des parasitoïdes et prédateurs

Champignons	<i>Oidium mangiferae</i>	Oïdium	Apparition d'un mycelium blanc sur les inflorescences et les feuilles	Application d'un fongicide de contact (Soufre)	
	<i>Colletotrichum gloeosporioi</i> -des	Anthraxnose	Tâches noires sur les feuilles et sur les fruits, pourrissement		Taille des arbres et ramassage des fruits
Bactéries	<i>Xanthomonas campestris</i>	Bactériose	Nécroses sur les feuilles et les fruits		Taille et élimination des organes infectés

Nous allons maintenant développer le cas de la cécidomyie des fleurs.

E – Présentation de la cécidomyie des fleurs du manguier : *Procontarinia mangiferae*

Procontarinia mangiferae fait partie de l'ordre des Diptères, famille des Cecidomyiidae. C'est une petite mouche de quelques millimètres de long qui possède un corps de couleur orangée. Son cycle est présenté sur le schéma ci-dessous.

Les adultes pondent leur œufs sur de jeunes organes du manguier (bourgeons végétatifs et florifères, inflorescences et boutons floraux). Les larves pénètrent dans l'organe où elles se développent pendant environ 7 à 10 jours en formant une galle. Ensuite, elles sortent de l'inflorescence et se laissent tomber au sol pour s'enfouir et s'ennuyer. La majorité des individus émerge après 4 à 6 jours dans le sol. Les femelles ont alors une durée de vie comprise entre 48 à 72h pour être fécondées et trouver un ou plusieurs sites favorables pour pondre.

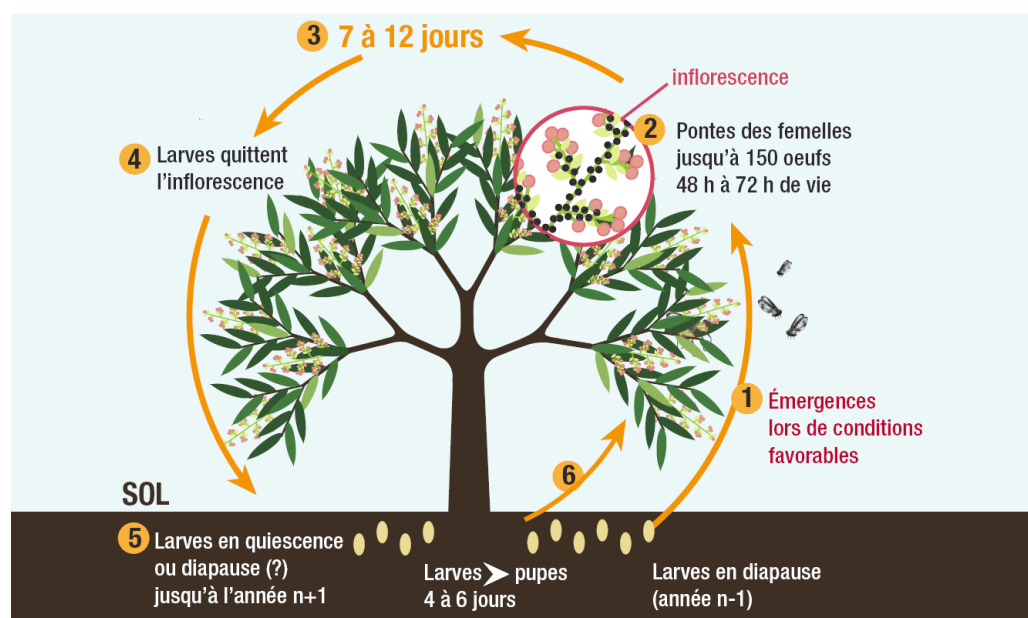


Illustration 3: Cycle de vie de la cécidomyie des fleurs du manguier (source [1])

2 – Matériels et méthodes

2.1 – Suivi de la population de *P. mangiferae* sur 3 parcelles de Juin à fin Octobre

Le but de cette expérimentation est d'avoir un suivi régulier sur 4 mois et sur 3 parcelles de la population totale de cécidomyies des fleurs. Les 3 parcelles sont situées dans 3 communes différentes : une à Saint-Paul dans le Nord-Ouest, une à Saint-Gilles, dans l'Ouest et une à Saint-Pierre dans le Sud. Ce suivi est pluri-annuel puisque ce protocole a déjà été réalisé en 2010.

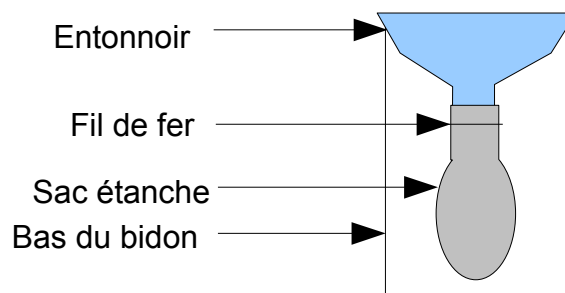
Les questions qui se posent sont les suivantes :

Y a-t-il un/des lien(s) entre la phénologie de la parcelle et les populations de larves observée ? Si oui, y a-t-il des variations entre les parcelles et/ ou les années ?

Y a-t-il un/des lien(s) entre les dégâts observés sur les inflorescences et les populations de larves observées ?

Principe du dispositif :

Sur chaque parcelle, 20 pièges sont répartis de façon la plus homogène possible sur l'ensemble du verger. Chaque piège est déposé en dessous de stades phénologiques considérés comme sensibles aux attaques des cécidomyies, c'est à dire des bourgeons en train d'éclore ou des jeunes stades florifères ou végétatifs. On choisit de préférence les inflorescences. Ces pièges sont constitués comme sur le schéma ci-dessous, le sac étanche est attaché à la sortie d'un entonnoir et rempli d'eau.



Dessin 1: Schéma d'un piège

Deux fois par semaine (lundi et jeudi), pour chaque piège, on relève la position du piège (parcelle, numéro de l'arbre), le nombre de larves comptées dans le sachet, les stades présents à l'aplomb du piège (nombre et pourcentage de dessèchement dû à la cécidomyie). Le dessèchement est noté, en 6 classes, sur une échelle de 0 à 1 :

- 0 : pas de dégâts
- C1 : de 0 à 25% de dessèchement,
- C2 : de 25% à 50%
- C3 : de 50% à 75%
- C4 : 75% à 100%
- 1 : mort

2.2 – Suivi d'une dynamique de colonisation d'un verger sain

Le but de cette expérimentation est de suivre la dynamique d'infection par la cécidomyie d'un verger sans population propre, considéré comme sain, par des adultes venant de vergers environnants infectés. Le plus proche est un verger mitoyen séparé de la parcelle en expérimentation par une haie discontinue (Plan en annexe 3). L'expérimentation a lieu sur la commune de Saint-Paul dans le Nord-Ouest.

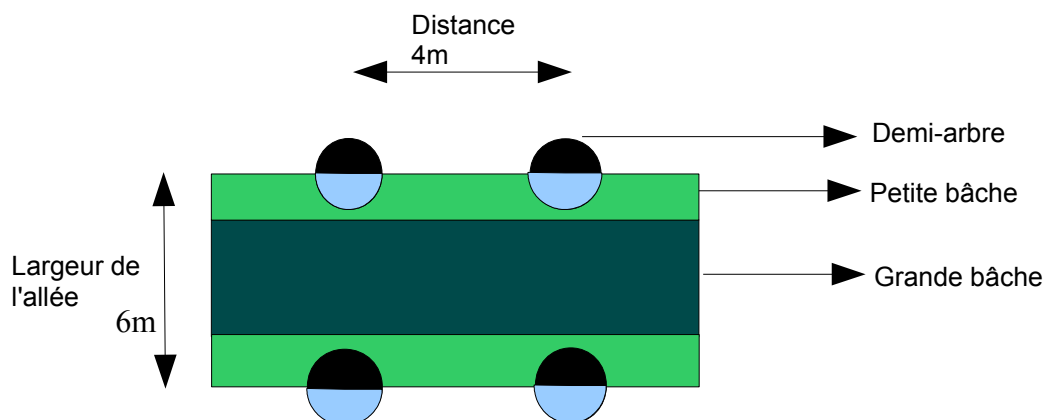
Nous disposons, en plus de ces données, d'un relevé régulier du nombre de chutes de larves sur la parcelle mitoyenne (grâce au protocole précédent).

Les questions qui se posent sont les suivantes :

Les évolutions des populations de larves dans les deux vergers suivent-elles une même dynamique ou sont-elles complètement déconnectées ?

Quels sont les apports respectifs de chaque stade phénologique en terme de population de larves ?

Principe du dispositif :



Dessin 2: Schéma du dispositif expérimental

La parcelle sur laquelle vont avoir lieu les relevés est bâchée avant le premier pic de floraison, pour rompre le cycle de reproduction de la cécidomyie, en empêchant l'émergence des adultes à partir des larves présentes dans le sol et arrêtant les larves sortant des organes du manguier qui meurent sur la bâche. Toutes les larves de cécidomyies obtenues par la suite sont supposées provenir de la ponte de femelles originaires des vergers environnants et plus précisément du verger mitoyen. Les cécidomyies sont donc capables de se déplacer soit par vol actif, soit par vol passif (transportées par le vent). Comme précédemment, le nombre de larves devrait varier en fonction de la quantité d'inflorescences présentes sur l'arbre, de la position de l'arbre dans la parcelle.

Tous les arbres ayant des pousses florifères ou végétatives sont inclus dans les comptages. Pour les besoins en précision, chaque arbre a été divisé en 2 demi-arbres qui sont notés séparément. Une barquette en plastique lestée d'un caillou est disposée sous chaque demi-arbre possédant des stades florifères ou végétatifs intéressants et remplie d'eau. L'eau sert à lester le piège et éviter la prédation des larves de cécidomyies par les fourmis par exemple. La barquette est posée sous un ensemble de stades qui reflète l'état du demi-arbre, tout en préférant les pousses florifères aux pousses végétatives.

Deux relevés par semaine sont effectués :

- les mardis, les nouveaux stades sensibles apparus sur chaque demi-arbre durant la semaine (éclosion de bourgeons), ainsi que ceux qui ont entièrement séchés sont comptabilisés.
- Les mardis et vendredis, le nombre de larves et le nombre de stades sensibles à la verticale de chaque piège sont comptés.

3 - Résultats et discussion

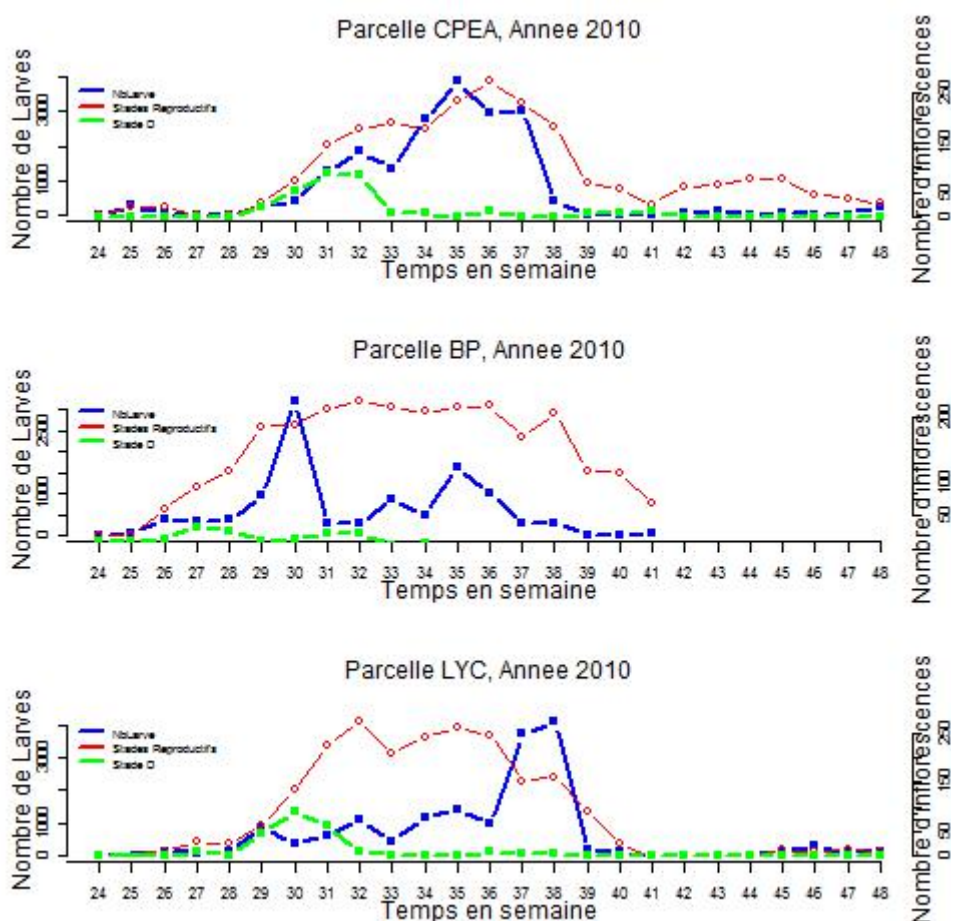
3.1 – Expérience 1 : Suivi des dynamiques de plusieurs parcelles

Les données recueillies en 2011 sont complétées par les données de 2010 qui ont été acquises selon le même protocole. Les analyses ont été conduites sous la version 2.13.2 du logiciel de statistique R (licence GNU).

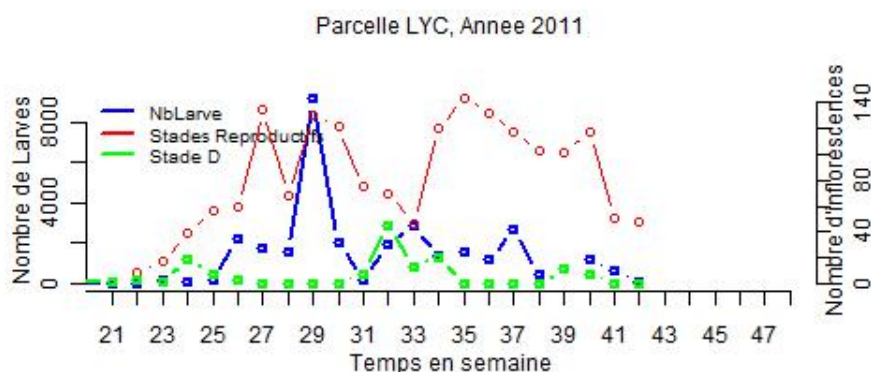
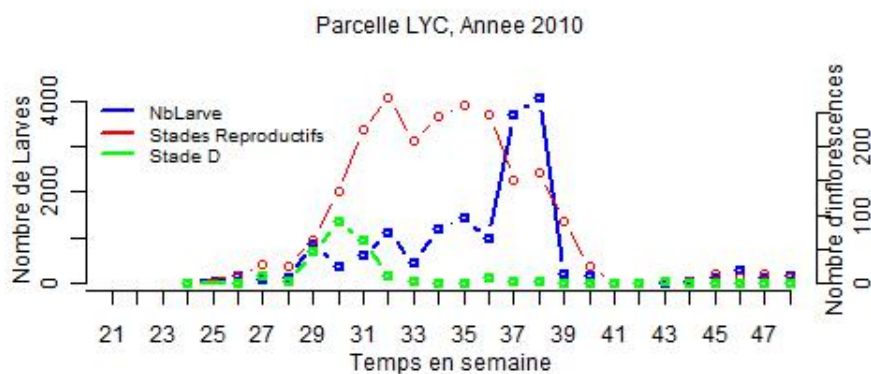
A – Dynamiques de population

Dans un premier temps, nous avons cherché les liens entre les populations de larves de cécidomyies et

l'état phénologique de la parcelle. Pour l'année 2010, le graphique ci-dessous présente, pour chaque parcelle, l'évolution du nombre d'inflorescences totales (courbe rouge), du nombre d'inflorescences en stade D (courbe verte), et du nombre de larves de cécidomyies comptées dans les pièges (courbe bleue).



L'allure générale des graphiques est différente entre parcelles. Par exemple, pour la courbe présentant le nombre de larves, le premier pic est atteint en semaine 29 pour la parcelle LYC, en semaine 30 pour la parcelle BP et en semaine 32 pour la parcelle CPEA. Les mêmes observations sont réalisables pour les courbes représentant l'évolution de la phénologie présente au-dessus des pièges. Les trois parcelles sont trois unités indépendantes, ceci est dû à leur relatif éloignement géographique qui rend les échanges d'insectes entre elles très faibles voir nuls. Cette indépendance est également présente en regardant les graphiques de l'année 2011 [Annexe 4]. De même en comparant les graphiques pour une parcelle sur 2 ans, les pics sont décalés d'une année sur l'autre. C'est vérifiable sur les graphiques ci-dessous, pour la parcelle LYC pour les années 2010 et 2011 : la floraison démarre en semaine 26/27 en 2010, et en semaine 24 en 2011.



L'évolution de la phénologie des parcelles est représentée par les courbes vertes et rouges respectivement pour le nombre d'inflorescences au stade D comptés au dessus des pièges et pour le nombre total d'inflorescences, tous stades confondus. L'augmentation du nombre de stade D au début de saison annonce le départ de la floraison. Suite à cette augmentation, le nombre total d'inflorescences augmente aussi fortement. Sur certains graphiques par exemple pour la parcelle LYC 2011 ou BP 2010, un deuxième pic d'apparition de stades D est bien visible, il correspond à une deuxième floraison des manguiers. Le démarrage de la floraison est fortement influencé par les conditions climatiques, température et pluviométrie, d'où les décalages que nous avons constatés entre les parcelles.

L'évolution du nombre de larves récoltées au cours du temps (courbe bleue) montre plusieurs pics successifs, d'importances différentes, qui sont séparés par une durée d'environ 4 semaines. La durée de cycle de développement des larves peut expliquer ce décalage puisqu'il y a entre 3 à 5 semaines entre deux générations. Le pic de chutes observé au niveau des pièges est représentatif des chutes de larves sur l'ensemble de la parcelle. La forte quantité de larves qui tombe à ce moment-là va se développer au même rythme et émerger presque simultanément 3 à 4 semaines plus tard. La différence d'abondance des chutes au moment des pics va être fonction de 2 caractères : la ressource en zone de ponte disponible et le nombre de larves du pic précédent. Si la ressource est disponible en quantité suffisante, les chutes de larves seront plus importantes d'une génération à l'autre.

En observant les relations entre le nombre de larves récupérées et le nombre d'inflorescences observées, le premier pic de larves récupérées survient souvent environ 4 à 5 semaines après le premier pic d'inflorescences au stade D. La première attaque de cécidomyies de la saison est donc fortement corrélée au départ de la floraison sur la parcelle. Sur certaines parcelles, un pic moins important qui précède celui décrit ci-dessus est observable. Une explication possible est qu'avant le début de la floraison de la parcelle, il y a un développement de pousses végétatives, c'est-à-dire de jeunes feuilles. Ces tissus sont également hôtes des larves de cécidomyie, mais sur un laps de temps bien plus court que les inflorescences puisqu'ils restent tendres moins longtemps. Ils participent donc au maintien de la population de cécidomyies en l'absence d'inflorescences.

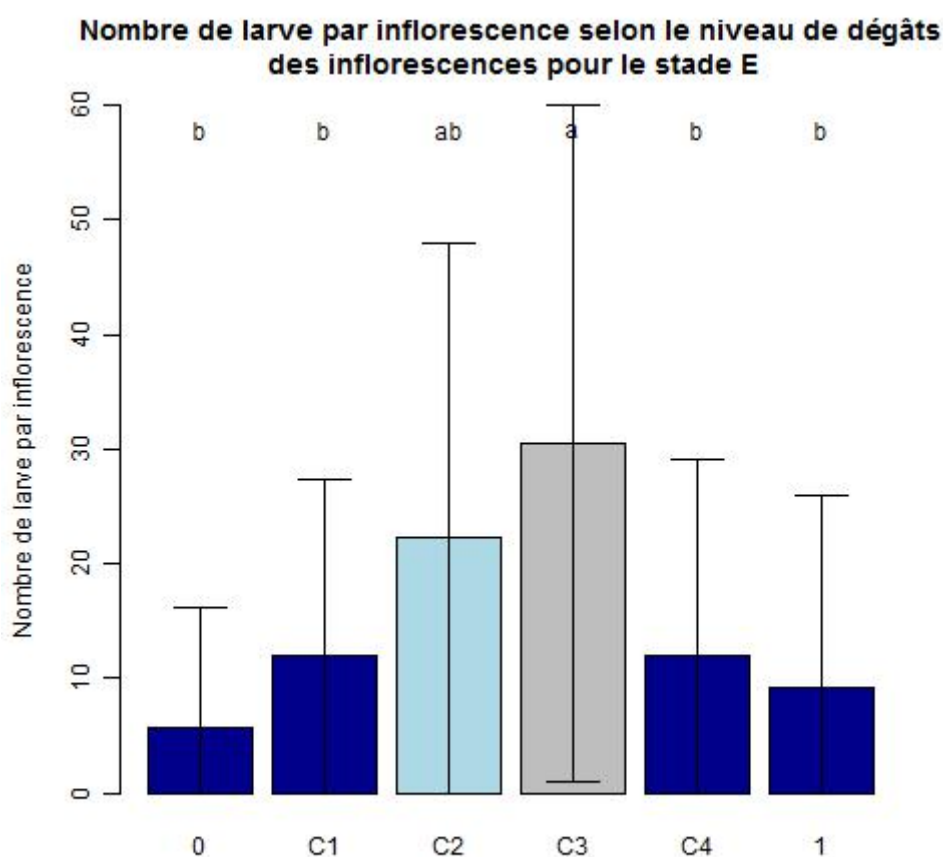
On peut conclure que dans le cas de parcelles géographiquement bien différenciées, les dynamiques de population de cécidomyies sont indépendantes entre elles et totalement liées au contexte local de la parcelle, à la dynamique de la floraison et éventuellement à d'autres facteurs environnementaux et climatiques.

B – Relation Dégâts / Nombre de larves

Dans un deuxième temps, nous avons cherché les liens entre les populations de larves de cécidomyies et les niveaux de dégâts observés sur les inflorescences classées par stade. Pour les analyses suivantes, nous utilisons le nombre de larves récupérées par semaine rapporté à une inflorescence. Les résultats présentés ci-dessous sont à moduler par un coefficient, le nombre de larves utilisé dans les analyses étant la somme des larves récoltées tous les stades phénologiques confondus. Comme nous ne nous intéressons qu'à un stade phénologique à la fois, il faut tenir compte de la participation de ce stade précis dans le nombre de larves. Cela est pris en compte par un coefficient multiplicateur appliqué sur le nombre total de larves, qui représente l'attractivité de l'inflorescence.

Nous utilisons le test de Student-Newman-Keuls pour vérifier que les différences observées sont bien significatives. Le principe du test est de comparer les moyennes 2 à 2.

Pour les stades D et F, aucune différence significative n'est observée entre les nombres de larves récupérées par inflorescence quel que soit le degré de dégâts noté. Pour le stade E, nous obtenons le graphique suivant :



Les résultats du test de Student-Newman-Keuls sont indiqués par les lettres situées en haut de chaque histogramme : deux colonnes qui ont des lettres similaires ne sont pas significativement différentes. Les colonnes correspondant aux niveaux de dégâts 0, C1, C4 et 1 produisent donc significativement moins de larves que le niveau C3. L'interprétation biologique de ces résultats confirme que les inflorescences qui ont un niveau de dégâts 0 ou C1 sont peu ou pas attaquées, elles produisent donc peu de larves. Les stades notés C4 et 1 présentent beaucoup de dégâts, ils ont déjà porté beaucoup de larves et sont très desséchés ce qui limite la possibilité pour de nouvelles larves de se développer à l'intérieur.

Des résultats similaires auraient pu être observés pour les stades D et F, les stades moyennement desséchés étant les plus à même de produire un grand nombre de larves. Une explication peut venir d'un problème d'observation et/ou de notation des dégâts. Le stade D est un stade relativement court. Un bourgeon peut donc lors d'un premier relevé être classé dans le stade D peu abîmé et au relevé suivant être déjà passé au stade E. Il n'aura donc jamais été noté en stade D dans des niveaux de dégâts plus importants. Cela conduit à une sous-estimation des dégâts présents au stade D. En corrigeant ce biais, il est possible que le résultat obtenu

soit du même type que celui ci-dessus. Par ailleurs, sur le stade F, la majorité des pontes ont lieu sur les boutons floraux et les dégâts sont peu visibles lors de l'observation de l'inflorescence, donc moins prises en compte lors de la notation des dégâts qui ne considère que le dessèchement des rachis. Cela entraîne une sous-évaluation des dégâts, donc une diminution du nombre d'inflorescences classées dans les catégories C2 et C3.

La conclusion du paragraphe précédent était que la population de cécidomyies avait une dynamique cyclique très liée à la ressource en inflorescence. La relation entre le niveau de dégâts observé sur une inflorescence et le niveau de population dans le verger n'est pas immédiate, car la densité de piqûres ne va pas seulement dépendre de la densité d'insectes, mais elle sera aussi fonction de la densité des inflorescences. Au début de la floraison, il n'y a que quelques jeunes inflorescences qui sont disponibles sur l'ensemble du verger. Ces quelques inflorescences vont donc être très attaquées, à cause de la rareté de la ressource en zone de ponte. Lors de la pleine floraison, la ressource en zone de ponte sera très importante. L'hypothèse faite est que toutes les inflorescences présentes sur la parcelle sont susceptibles d'être utilisées comme zone de ponte. A densité de population estimée égale, le niveau de dégâts sera donc moindre par inflorescence, il y a un effet de 'dilution'.

Nous pouvons donc conclure que le niveau de dégâts observé sur une inflorescence au stade E va pouvoir nous indiquer un ordre de grandeur du nombre de larves trouvées dans le piège. Il est par contre plus difficile, à partir des données que nous avons, de retrouver une estimation de la dynamique de population de cécidomyies à partir de ces dégâts du fait de l'effet de dilution.

3.2 - Expérience 2 : Dynamique de colonisation d'une parcelle saine

Le but de cette expérience est d'étudier les particularités de dynamiques de population de larves de cécidomyies sur une parcelle bâchée, qui empêche toute reproduction sur la parcelle. L'hypothèse principale posée pour cette expérience est que le verger mitoyen est la source des insectes qui infectent la parcelle bâchée, sachant qu'il n'y a pas d'autres vergers dans un environnement proche.

A – Comparaison de la répartition spatiale de la floraison et des chutes de larves

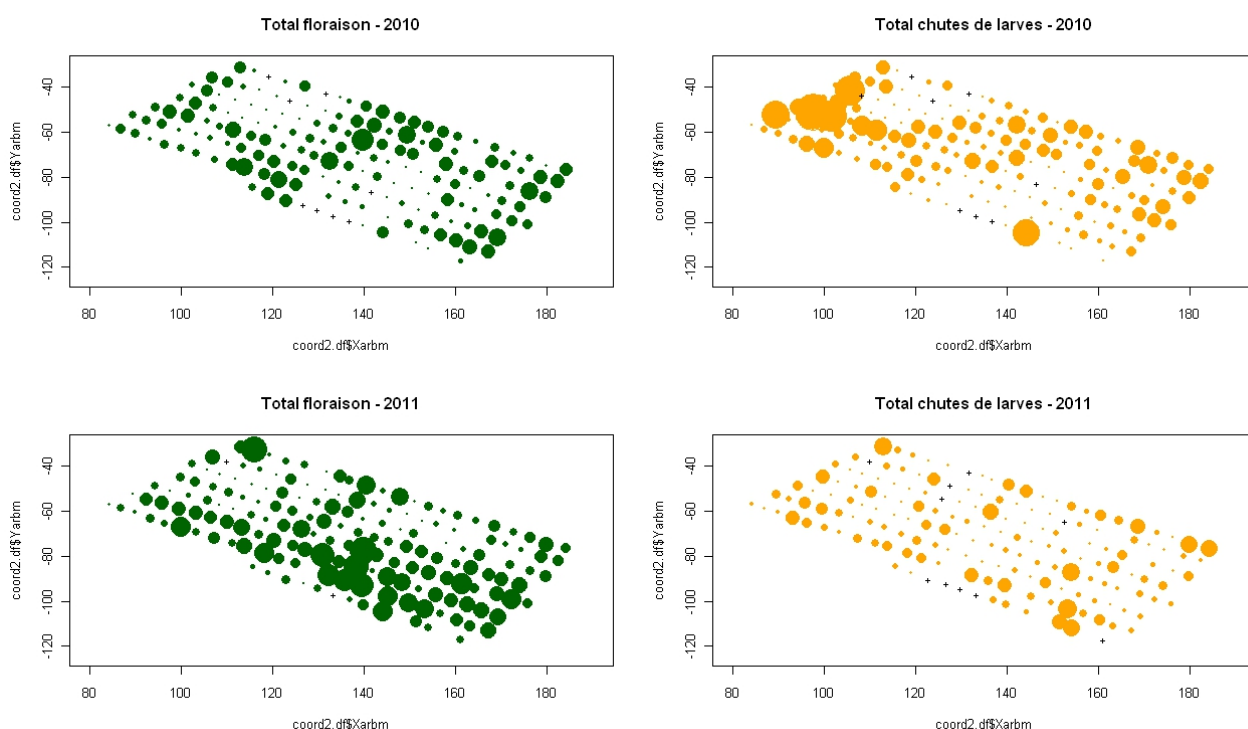


Illustration 4: Diagrammes 2010 et 2011 totaux de la phénologie et des chutes de larves

Sur l'illustration 4, chaque disque correspond à un arbre. Le diamètre des disques verts indique le nombre de stades D qui ont été observés sur l'arbre et en orange, le nombre total de larves qui ont été comptées dans les pièges.

Une étude des motifs généraux de l'illustration permet de se rendre compte que l'obtention de larves est subordonnée à la présence d'arbres en fleur. Pour l'année 2010, les manguiers qui ont le plus fleuri sont disposés

sur la parcelle selon une forme de S. Cette forme de S est plus ou moins retrouvée dans la disposition des nombres de larves obtenues. Pour 2011, le contraste est moins net : la partie basse et la rangée du haut de la parcelle ont beaucoup fleuri. Cela se retrouve un peu sur le diagramme des chutes de larves, mais de façon moins précise que pour 2010.

Si pour certains points, le nombre de larves semble lié au niveau de floraison de l'arbre. Dans d'autres cas, le nombre de chutes de larves est important alors que la floraison est faible et inversement.

Le nombre de larves obtenu est donc lié à la floraison, mais également à la densité de population d'adultes sur la parcelle au moment de la floraison. Les quelques arbres présentant une floraison moyenne et des chutes de larves importantes peuvent être des arbres dont la floraison a eu lieu tôt dans la saison quand la ressource en zone de ponte était très faible. C'est le cas pour certains arbres de 2010. Ces inflorescences se sont faites attaquer très sévèrement et ont produit un nombre de larves très important.

Le cas contraire, c'est à dire les arbres qui ont beaucoup fleuri mais produit peu de larves, peut s'expliquer par exemple par le fait que ces arbres ont fleuri pendant la période de pleine floraison. Même avec un niveau d'adultes important dans la parcelle, la ressource en zone de ponte est tellement étendue que les inflorescences sont en général peu piquées et produisent peu de larves. L'hypothèse qui est faite est la même qu'au paragraphe précédent, c'est à dire que toutes les inflorescences sont susceptibles d'être des zones de ponte.

Ce graphique est intéressant pour étudier des phénomènes spatiaux. Le problème est le suivant : la production de larves est fortement dépendante de la floraison, or c'est un phénomène qui est surtout temporel. Pour étudier des phénomènes spatiaux, il faudrait d'abord s'affranchir du phénomène floraison à travers un modèle adapté.

B – Comparaison des dynamiques de population sur les deux parcelles

Les deux graphiques ci-dessous présentent deux courbes, celle de la parcelle bâchée représentée en rouge et celle de la parcelle témoin en vert. Ces courbes présentent, en échelle logarithmique, l'évolution du nombre de larves au cours du temps pour 2010 et pour 2011.

Quel que soit le graphique choisi, l'évolution des deux courbes est très proche, presque parallèle, les mêmes événements majeurs sont visibles simultanément sur les deux parcelles. Cela confirme notre supposition de parcelle 'source' : les insectes viennent pondre sur la ressource disponible la plus proche c'est-à-dire sur la parcelle bâchée. L'arrivée sur la parcelle bâchée peut se faire suivant deux hypothèses : soit les cécidomyies utilisent le vent pour se déplacer (vol passif), soit elles ont un vol actif vers la ressource. Par conséquent soit les femelles arrivent sur la ressource saine de façon aléatoire, soit elles sont capables de détecter une ressource disponible dans un environnement proche et de se déplacer pour l'atteindre.

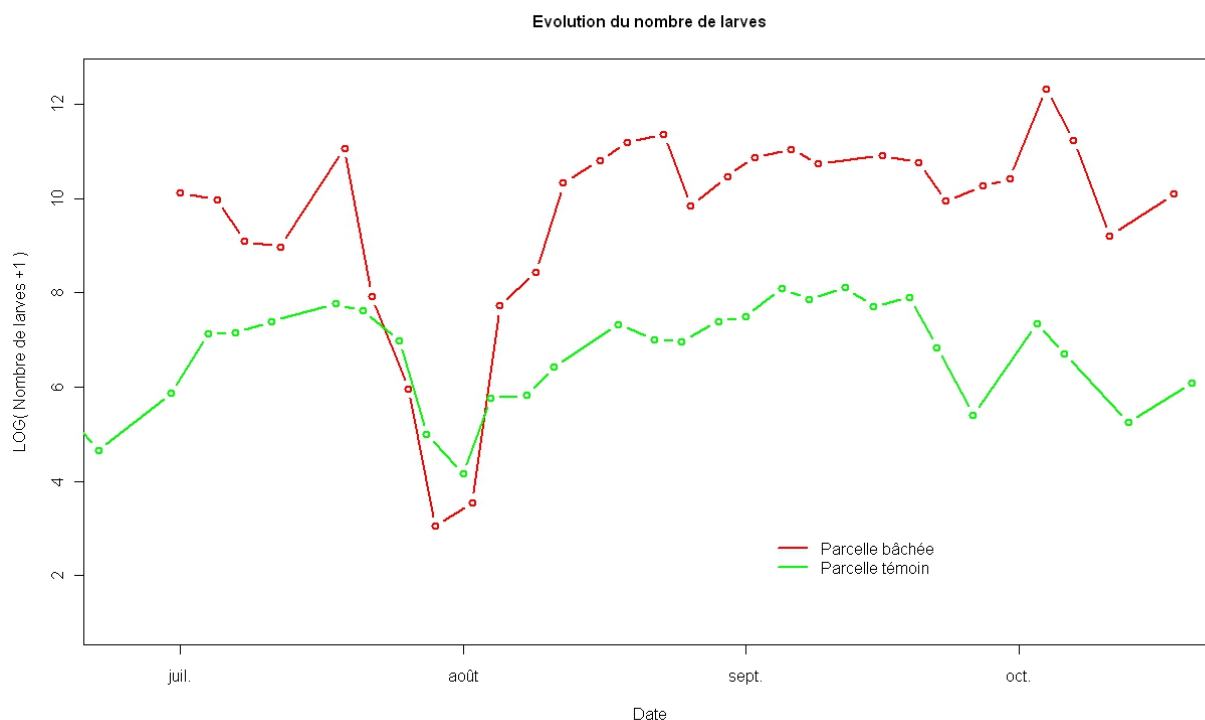


Illustration 5: Evolution du nombre de chutes de larves en log pour 2011

Dans le cas de parcelles géographiquement proches, les apports de cécidomyies d'une parcelle à l'autre peuvent être très importants. L'environnement autour d'une parcelle, le fait qu'il y ait d'autres vergers aux alentours, sont des facteurs qui vont fortement influencer sur les possibilités d'infestation et d'échange d'adultes. Dans le cas présent, les flux d'insectes mesurés qui passent d'une parcelle à l'autre sont très importants. Grâce à la bâche, la parcelle ne produit pas d'adultes elle-même, il est donc nécessaire que les femelles pondeuses soient issus des parcelles voisines. La ressource en inflorescences saines proche est très attractive lorsque les niveaux de population dans le verger mitoyen sont élevés et que toute la ressource locale a déjà été utilisée.

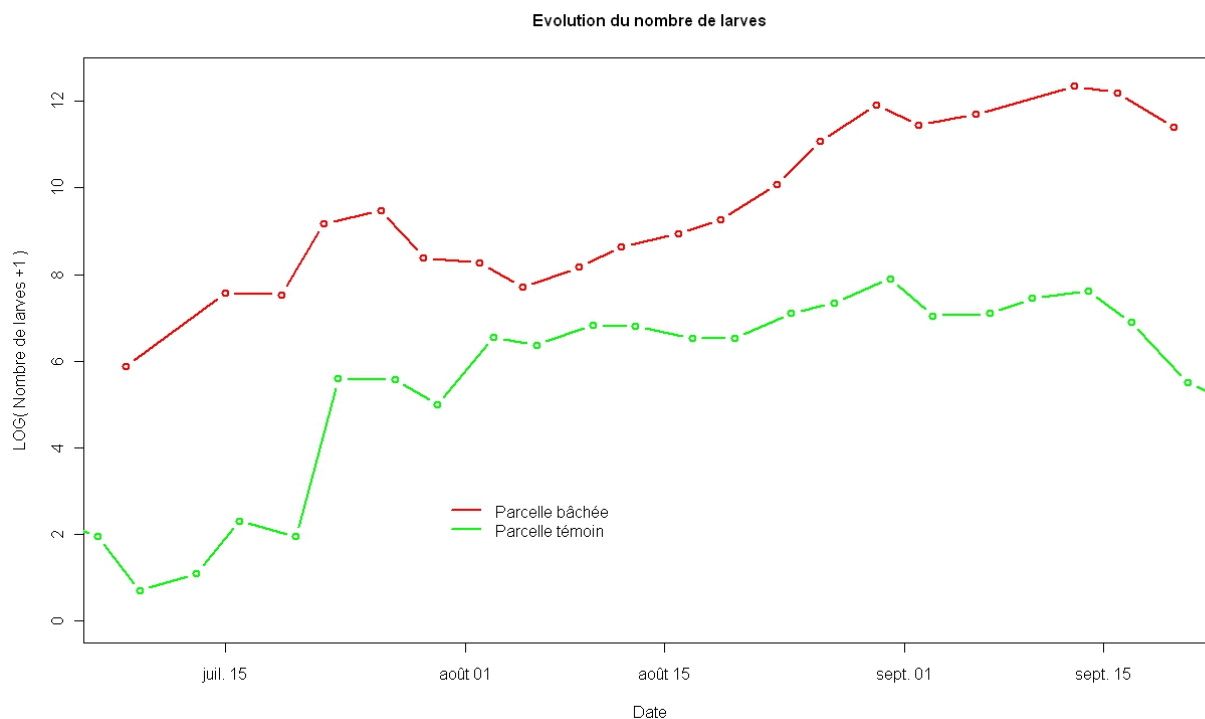


Illustration 6: Evolution du nombre de chutes larves en log pour 2010

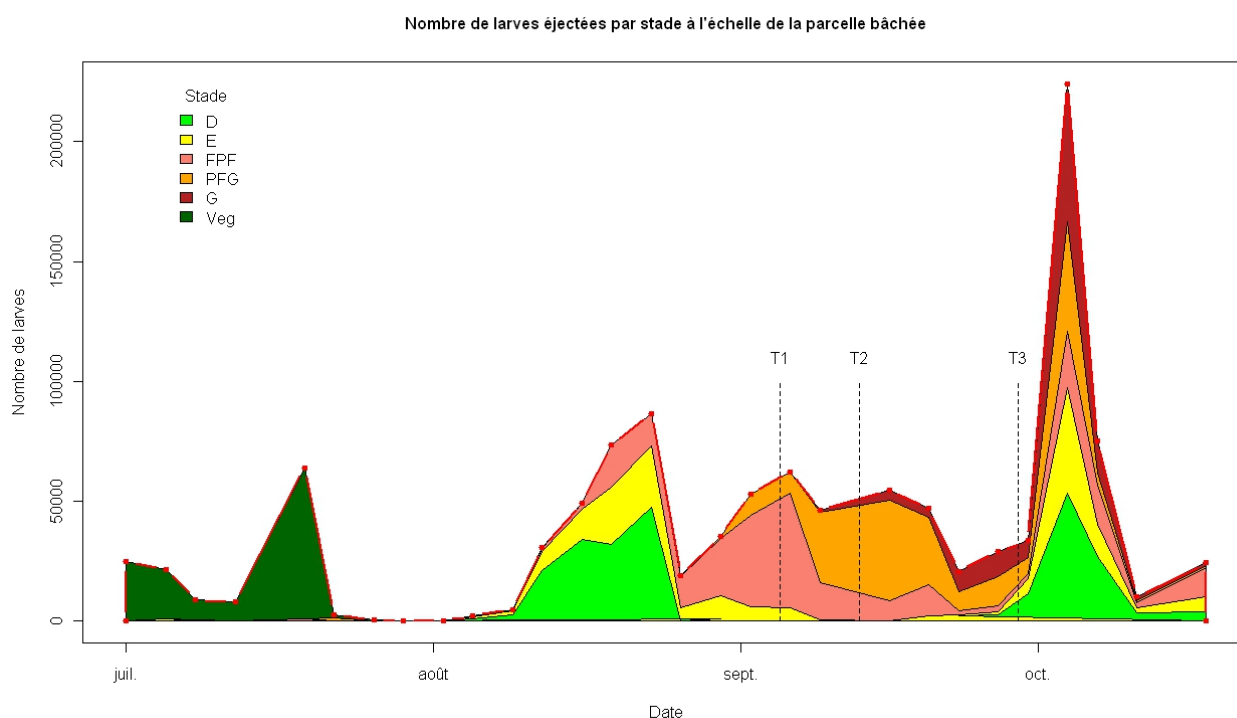
Les protocoles de récupération des larves sont différents entre les deux parcelles : sur la parcelle témoin, il n'y a que 20 pièges alors que sur la parcelle bâchée, tous les demi-arbres en fleur ont un piège, les pièges

utilisés pour les deux expériences sont également différents. Les niveaux de larves observés dans l'une et l'autre expérience ne sont donc pas comparables.

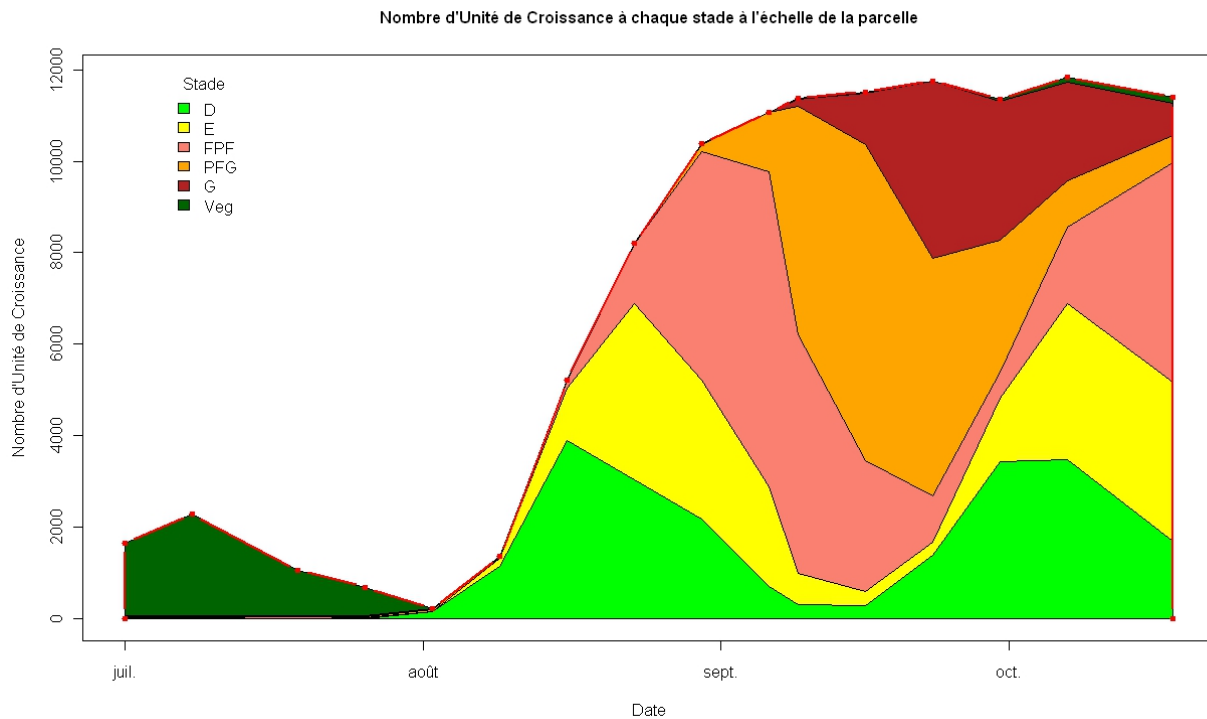
De cette expérience, d'un point de vue contrôle des populations dans le verger, nous pouvons conclure que la lutte contre la cécidomyie dans un seul verger dans un environnement qui comporterait d'autres vergers à proximité serait inefficace. Le verger aurait toutes les chances de se faire infecter par des insectes provenant des vergers alentours car les échanges d'individus entre parcelles sont importants. De même, la présence dans les jardins créoles et dans la nature de manguiers sauvages est un problème pour la mise en place d'un traitement ou d'une méthode de lutte efficace, car ils constituent une ressource pour le maintien de la population de cécidomyies et seraient des vecteurs possibles de ré-infection. Ce sont des éléments à prendre en compte lors des réflexions sur des moyens de lutte.

C – Relations Stade de l'inflorescence – Nombre de larve

Sur les graphiques ci-dessous sont représentés dans des couleurs différentes la participation de chaque stade phénologique pour la production de larves pour le premier graphique et pour la phénologie totale pour le second. Tous les stades phénologiques participent à la production finale de larves dans les proportions de leur présence sur la parcelle, sauf le stade G qui produit de façon générale beaucoup moins de larves. Le stade G n'est plus propice à la ponte des adultes, car les tissus des inflorescences ont durci et il ne présente plus de fleurs, mais des petits fruits. Les larves produites par le stade G vont être des larves dont les œufs ont été pondus sur un stade F tardif et vont donc simplement finir leur développement sur un début de stade G. On remarque également la participation non négligeable des pousses végétatives en début de saison qui permettent d'avoir un premier pic de population à plus de 50 000 adultes.



L'inefficacité des traitements réalisés par les agriculteurs se confirme. Le graphique ci-dessus en est une illustration. Trois traitements ont été réalisés en septembre, avec du soufre et des insecticides destinés à traiter la punaise du manguier. La cécidomyie étant un insecte fragile, il est possible que les adultes soient affectés par les traitements. Cependant, le produit insecticide n'est efficace que quelques jours suivant le traitement et les larves en sont protégées à l'intérieur des inflorescences ou du sol. Après les deux premiers traitements, une légère baisse des niveaux de population est observée. Après le troisième, une explosion de la population de larves est visible. La conclusion de cette étude est que les traitements n'ont aucun effet sur la population de cécidomyies. Il est même possible que l'effet obtenu soit l'inverse de celui souhaité à travers la destruction des parasitoïdes lors du traitement. Même non spécifiques, ils contribuent à la régulation de la population.



Les stades phénologiques du manguiers, végétatifs et reproductifs, sont tous attractifs, mais de façon différente pour les cécidomyies. L'utilisation des pousses végétatives comme zone de ponte n'est pas négligeable.

Conclusion

La cécidomyie pose des problèmes importants dans les vergers de manguiers au niveau de la floraison. Elle est un facteur de perte de rendement pour lequel il faut trouver des moyens de lutte efficaces et respectueux de l'environnement.

De notre étude, nous pouvons tirer de nouvelles informations qui vont permettre de mieux comprendre les dynamiques de population de la cécidomyie des fleurs. D'abord, le cycle de vie de cet insecte est très lié au contexte de la parcelle, à la présence de vergers environnants, mais surtout à la floraison de la parcelle, puisque celle-ci est le support d'une partie de son développement larvaire. Il n'a pas été observé de dynamique de population à l'échelle de l'île entière, mais plutôt à l'échelle de 'zones', une région de vergers géographiquement proches. Les variations de conditions climatiques étant très localisées, le début de la floraison ne sera pas simultané sur l'ensemble des vergers de l'île. Les dynamiques seront plutôt liées à un contexte particulier, - qui sera le lieu d'échanges d'individus.

En combinant ces résultats avec les données déjà existantes, sur le cycle de vie de la cécidomyie par exemple, il est possible de mettre au jour de nouvelles pistes de réflexions. Celles-ci concernent :

- la mise en évidence de d'autres facteurs explicatifs des dynamiques parcellaires de population. En mettant en place un modèle qui tient compte du facteur floraison, l'étude des résidus permettrait de se concentrer sur d'éventuels nouveaux facteurs explicatifs, des phénomènes spatiaux par exemple.
- le passage du nombre de larves échantillonnées au nombre global de larves sur la parcelle puis au nombre d'adultes, dans l'expérience de dynamique de population sur les trois parcelles isolées. Cela permettrait de comparer les niveaux d'insectes que l'on a en parallèle sur la parcelle bâchée et la parcelle mitoyenne par exemple, ou de voir si les niveaux de populations de larves que l'on trouve dans les différents secteurs (Nord, Nord-Ouest, Sud) sont les mêmes.






Quelques idées d'applications directes peuvent être tirées des conclusions de cette étude. Il est difficile d'agir pendant la première phase de développement larvaire, puisque les larves sont protégées à l'intérieur de l'inflorescence. Les moyens de lutte à développer devront donc être préventifs pour empêcher au maximum la ponte sur les inflorescences, c'est à dire soit intervenir à l'interface sol-air pour limiter l'enfouissement des larves puis l'émergence des adultes, soit à l'interface air-inflorescence pour empêcher la ponte elle-même. Les méthodes développées devront tenir compte de la capacité de déplacement de l'insecte et être raisonnées à l'échelle d'une 'zone' et non d'une parcelle. Des systèmes de bâchage partiel, de paillage, de mise en place d'une couverture végétale du sol sont actuellement à l'étude. L'enjeu majeur est de trouver des dispositifs efficaces mais qui ne diminuent pas la biodiversité de la parcelle et ne favorisent pas les autres ravageurs.







Annexe 1 : Cartes Topographie / Climatologie

A – Hypsométrie / Angle des pentes

[illegible]

PENTES	SURFACIE	
	%	Km ²
plus de 50 %	18,2	460
40 - 50 %	3,9	100
30 - 40 %	7,7	191
20 - 30 %	17,5	440
10 - 20 %	30,7	764
0 - 10 %	22,0	557

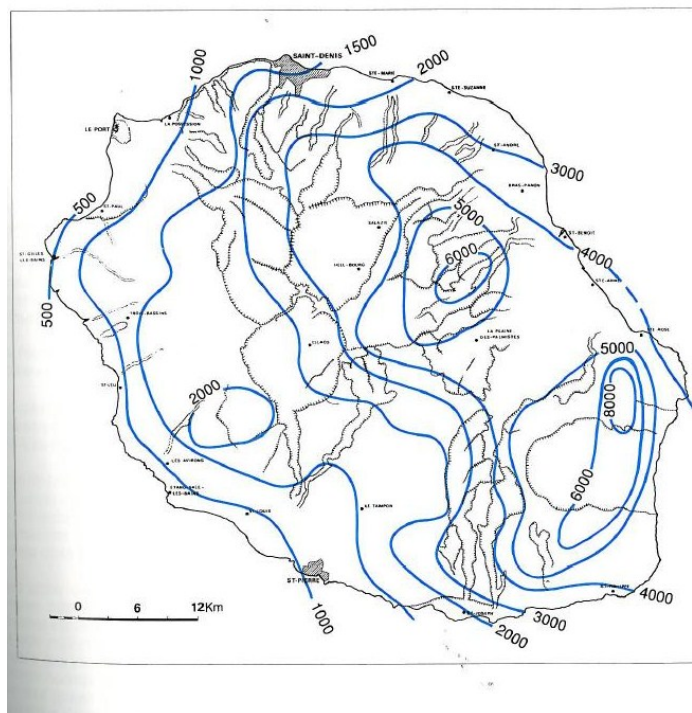
	PENTES	SUPERFICIE	
		%	Km ²
	plus de 50 %	18, 2	460
	40 - 50 %	3, 9	100
	30 - 40 %	7, 7	191
	20 - 30 %	17, 5	440
	10 - 20 %	30, 7	764
	0 - 10 %	22, 0	557
	Total	100	2812

	PENTES	SUPERFICIE	
		%	Km ²
	plus de 50 %	18,2	460
	40 - 50 %	3,9	100
	30 - 40 %	7,7	193
	20 - 30 %	17,5	440
	10 - 20 %	30,7	764
	0 - 10 %	22,0	557

B – Pluviométrie

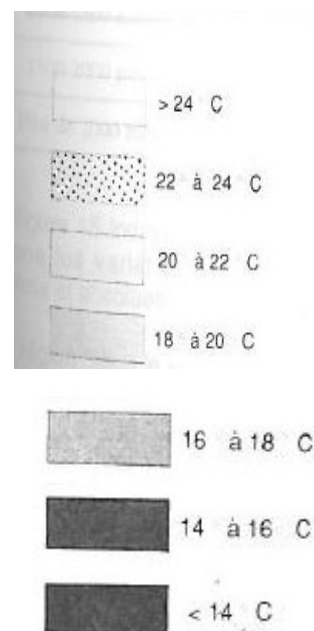
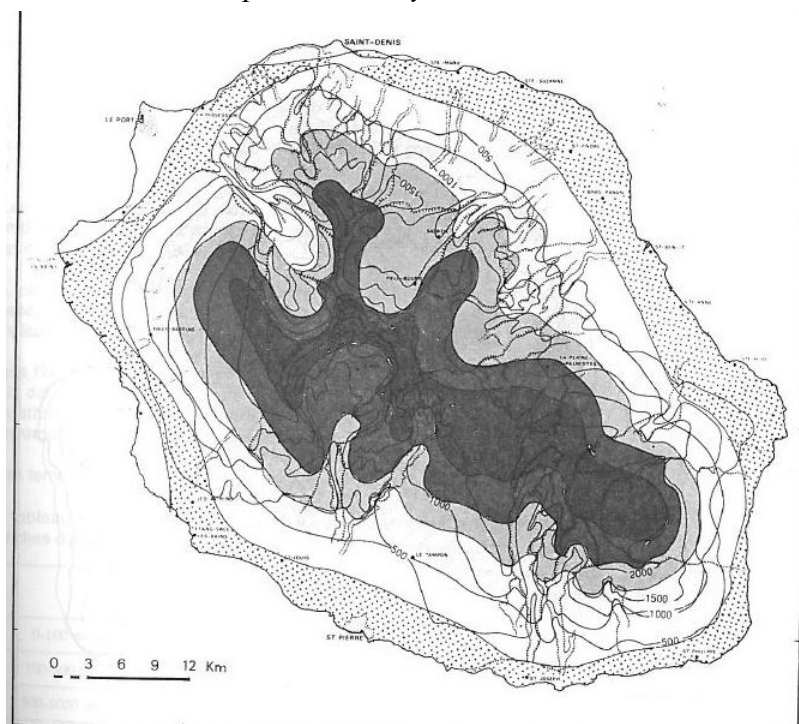
PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE (en mm)

période 1958 -1980



C – Température

Illustration 7: Températures moyennes annuelles



Annexe 2 : Carte de répartition de la production de mangues

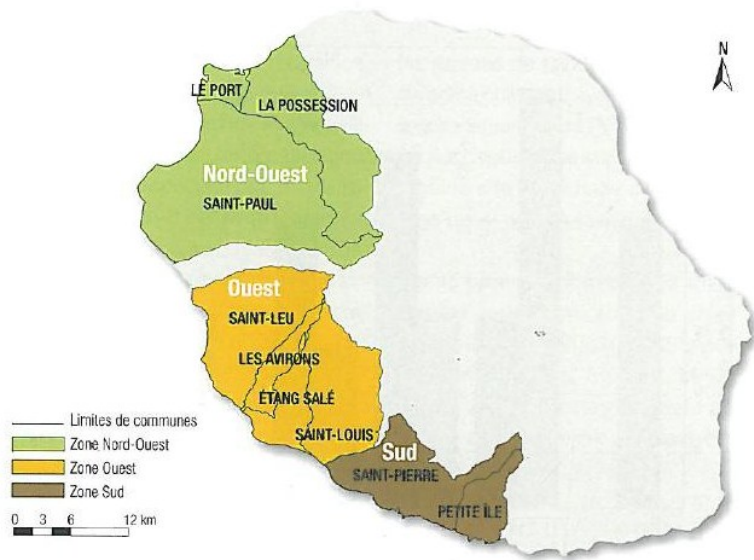


FIGURE 9 - LES TROIS ZONES DE PRODUCTION DE MANGUES À LA RÉUNION.

Annexe 3 : Plan de la parcelle bâchée

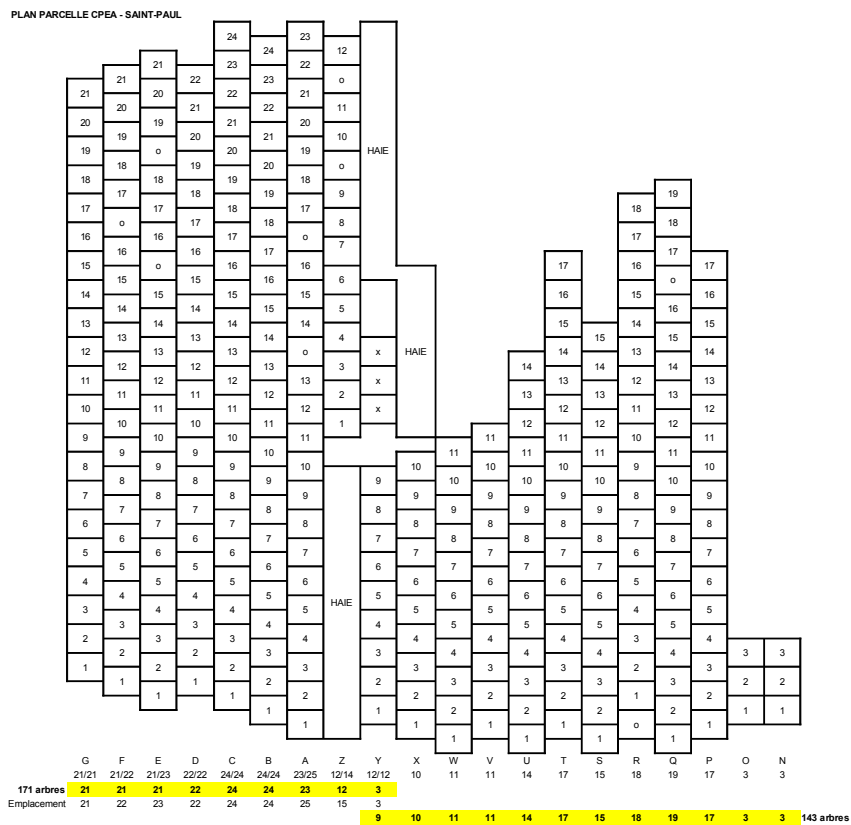
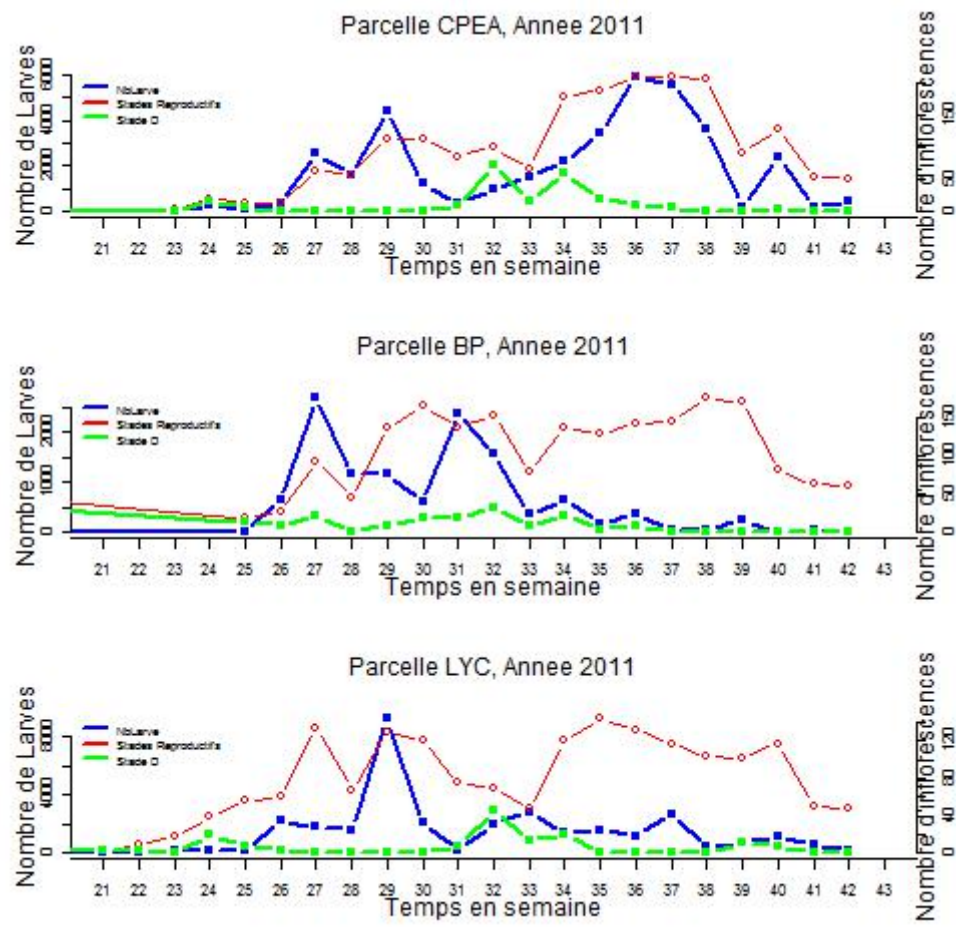


Illustration 8: Plan du verger avec numérotation, le verger bâché est celui à gauche de la haie

Annexe 4 :



Références bibliographiques :

- Abbas, S. R., M. Verghese, and M. Fasih. 1989. Studies on the mango inflorescence midge, *Erosomyia indica*
- Amouroux P, Normand F (2010) Survey of mango pests on Reunion Island, with a focus on pests affecting flowering. In: *In : 9th International Mango Symposium (book of abstracts) , 8-12/04/2010, Sanya, China. - s.l. : s.n., 2010, p. p. 24.*
- Barbosa FR, Gonçalves ME, De Souza EA, *et al.* (2002) Chemical control of *Erosomyia mangiferae* on mango trees at the sao francisco river valley, Brazil. *Annals of the VII International Mango Symposium*, 261-261
- Morrison, A., Quiring, D., 2009, Intra-plant influences the preference and performance of juveniles and adults of a gall-midge, *Ecological Entomology*, 34, 287-295
- Peña, J. E., A. I. Mohyuddin, and M. Wysoki. 1998. A review of the pest management situation in mango agroecosystems. *Phytoparasitica* 26:129-148.
- Prasad, S. N. 1971. The Mango Midge Pests. Allahabad, India. 172pp.
- R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- [1] Vincenot, D.; F. Normand. 2009. Guide de production intégrée de mangues à la Réunion. Ed. Armefflor – Cirad – Chambre d’agriculture de la Réunion. 121pp.
- Waqar, A., Nawaz, M. A., Saleem, B. A., Asim, M., 2005, Incidence of mango midge and its control in different mango growing countries of the world, International Conference on Mango and Date Palm : Culture and Export, Faisalabad
- Whitwell AC (1993) The pest/predator/parasitoid complex on mango inflorescence in Dominica **341**.
- Withers, T. M., Harris, M. O., and Madie, C. 1997. Dispersal of mated Hessian flies in fields array of host and non host plants. New Zealand. Entomological society of America.

Sources des images :

Illustration 1 :

- Google maps : <http://maps.google.fr/maps?hl=fr&ll=-19.103648,45.65918&spn=23.848197,39.506836&sll=-19.103648,45.65918&sspn=23.848197,39.506836&vpsrc=0&t=m&z=5>
- http://www.iledelareunion.net/carte_ile_reunion.php

Illustrations 2 et 3 :

Guide de production intégrée de mangues à La Réunion

D. Vincenot, F. Normand

Ed. Armefflor – Cirad – Chambre d’agriculture de la Réunion

2009

Illustrations de l'annexe 1 :

LE MILIEU PHYSIQUE ET LES SOLS DE L'ÎLE DE LA RÉUNION, Conséquences pour la mise en valeur agricole

M. Raunet,
1991